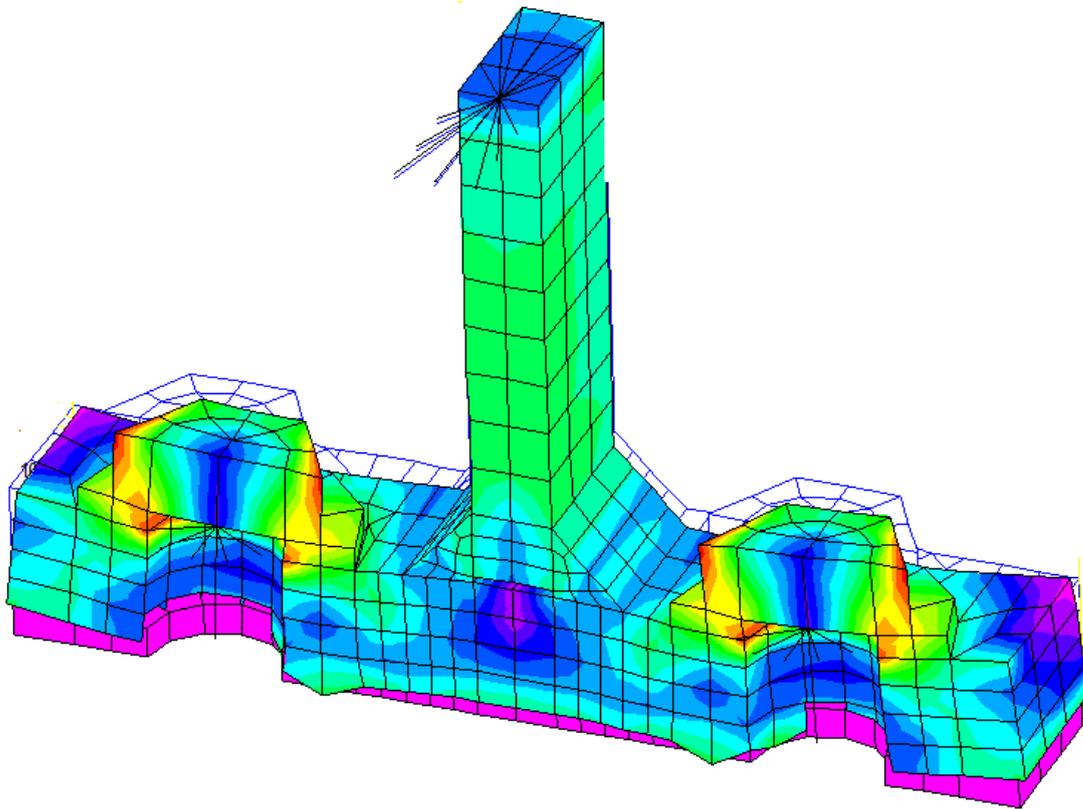
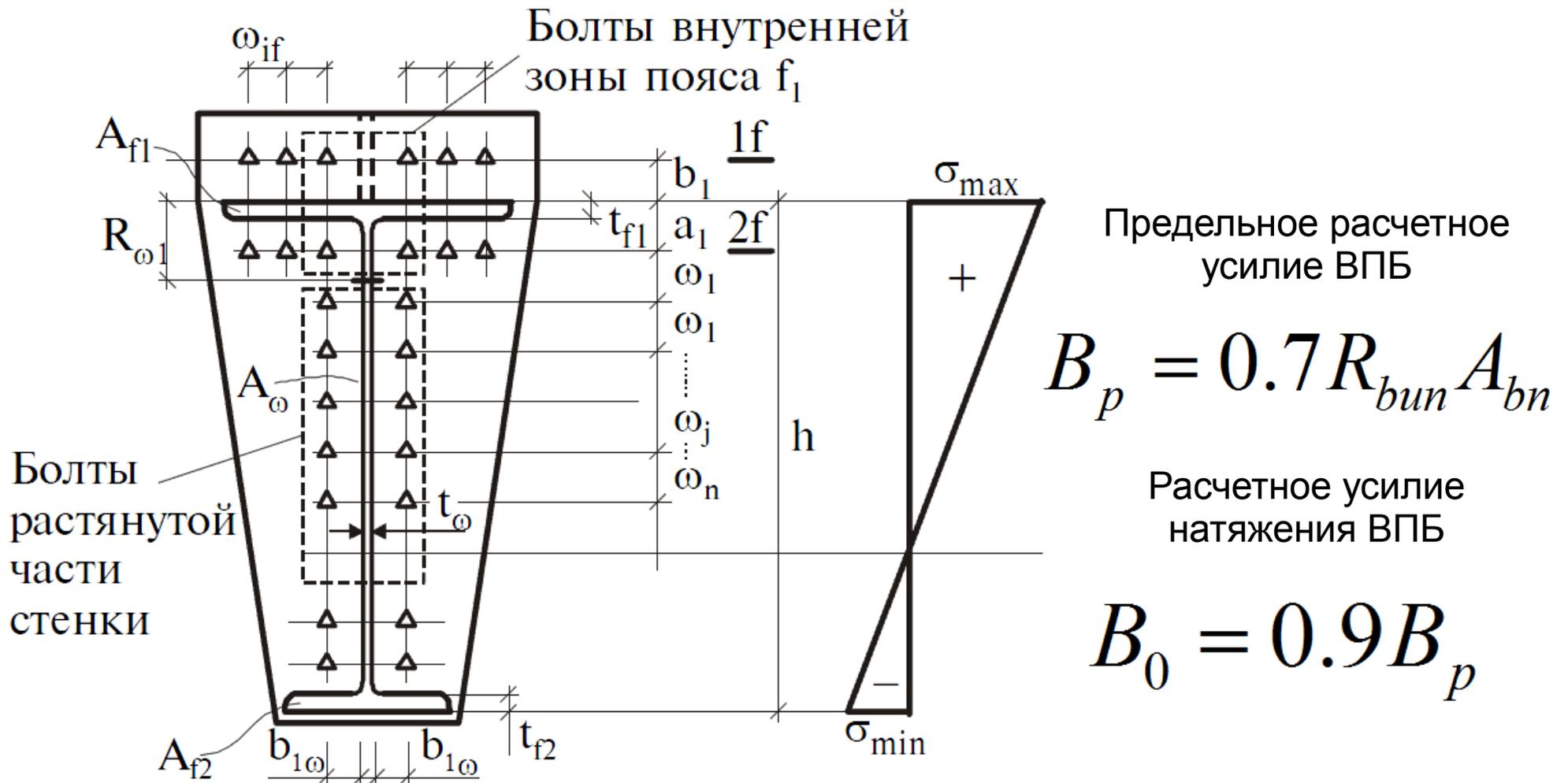


**Оценка предельной несущей способности
фланцевого соединения на высокопрочных
болтах при наличии остаточных деформаций
фланцев с использованием расчетных моделей на
основе объемных конечных элементов.**



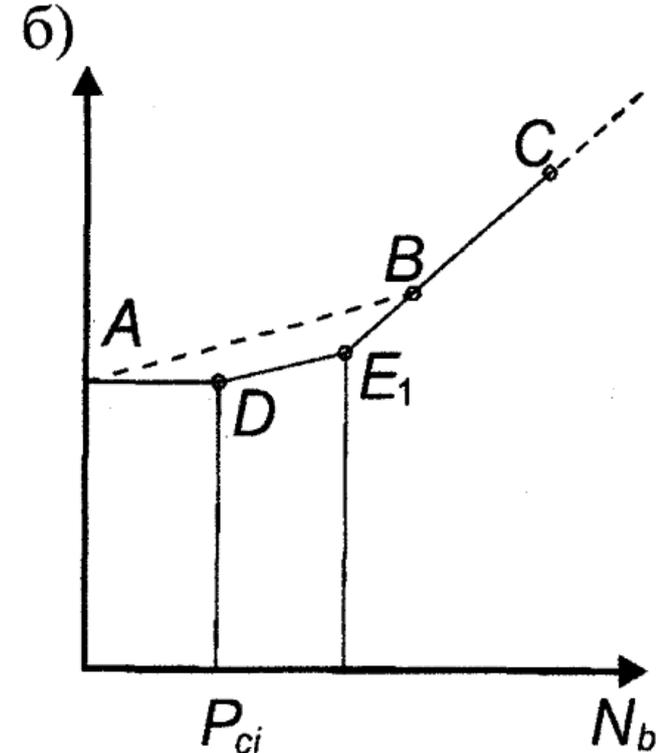
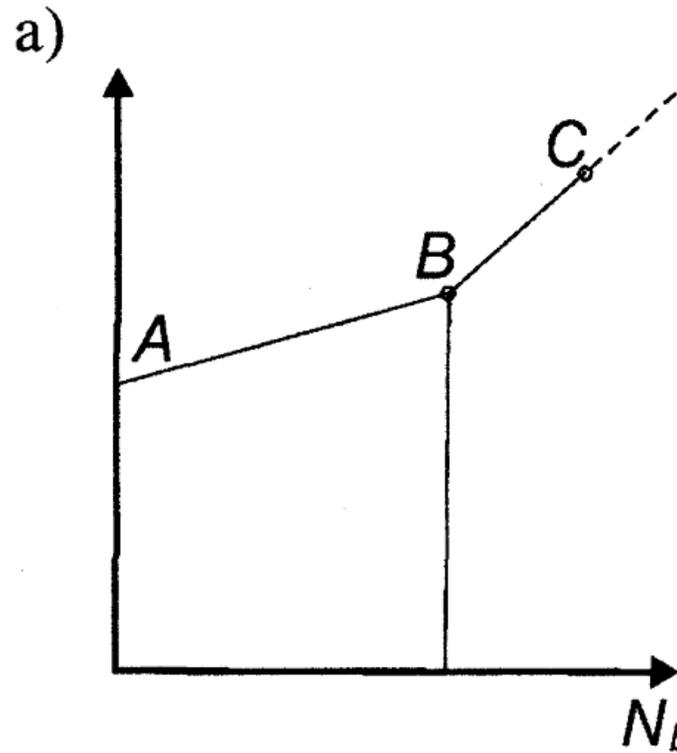
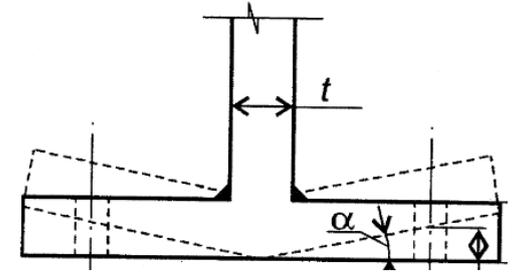
Теплых А.В.
ООО „КБТ“, г. Самара,
www.kbtsamara.ru

Методика ЦНИИПСК



Усилия воспринимаются главным образом вследствие преодоления сопротивления сжатию фланцев от предварительного натяжения высокопрочных болтов. До раскрытия стыка болтами воспринимается от 14% до 18% внешней нагрузки в зависимости от толщины фланца. После раскрытия стыка болтами воспринимается 100% внешней нагрузки, что крайне нежелательно.

Проблема!!!



Изменение усилий в болтах при действии внешней нагрузки для плоских(а) и грибовидных (б) фланцев

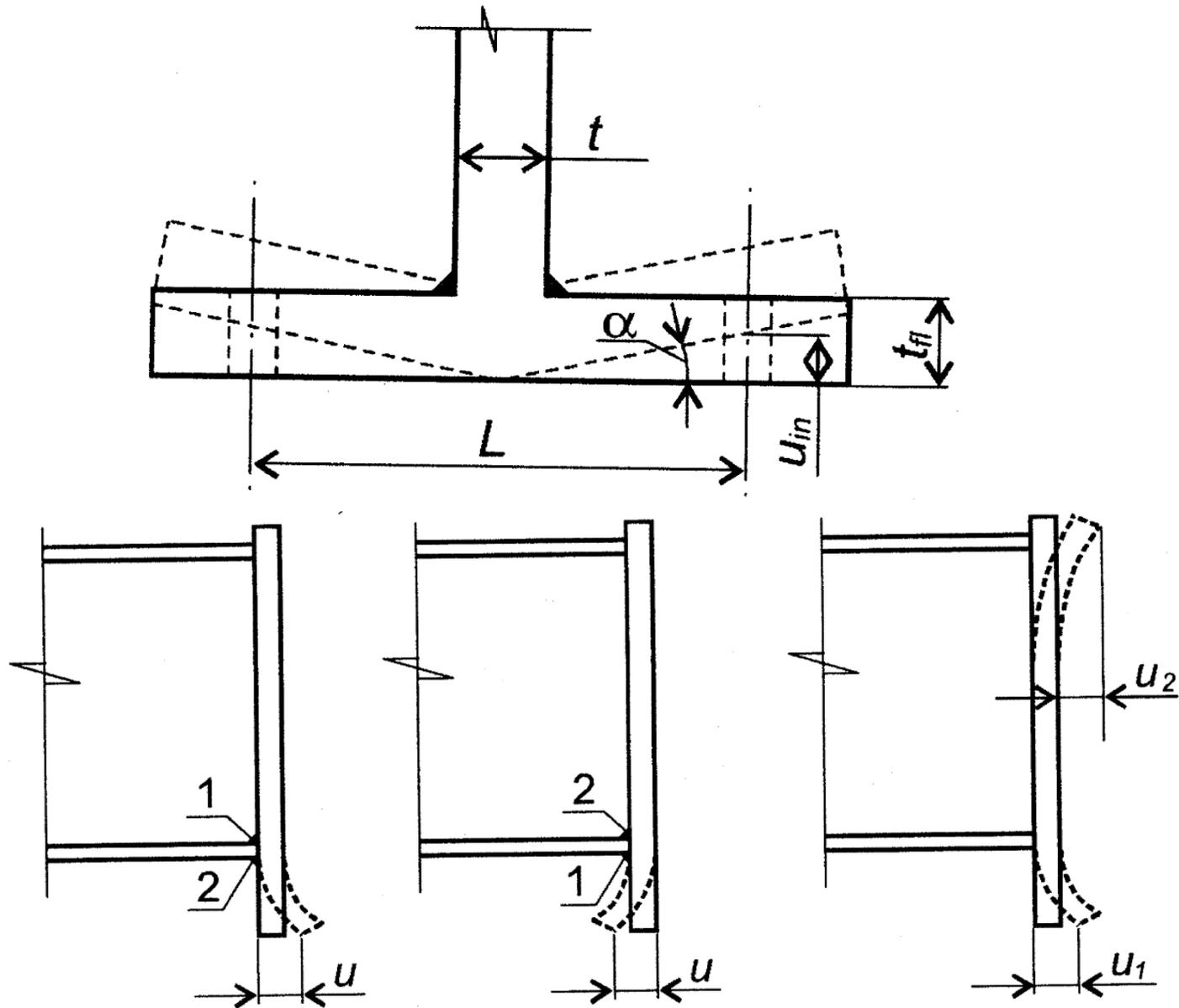
Проблема!!!

При производстве стальных конструкций с применением фланцевых стыков на высокопрочных преднапряженных болтах, во фланцах часто возникают остаточные деформации в форме грибовидности.

Существующие рекомендации, разработанные ЦНИИПСК в 1989 г., предъявляют жесткие требования к изготовлению фланцев, которые зачастую могут быть выполнены только с применением дорогостоящей операции фрезеровки поверхности фланца, что на практике выполняется не каждым производителем.

Указанные требования имеют обоснование, поскольку деформации фланца могут привести к существенному увеличению доли внешней нагрузки на болты, вследствие потери натяжения на преодоление начальных остаточных деформаций фланца и ускорению раскрытия стыка. В 1989 году не было таких расчетных возможностей, какие предоставляют современные программные комплексы.

Проблема!!!



При приварке фланцев в них возникают остаточные сварочные деформации (грибовидность), величина и форма которых зависит от толщины фланцев, порядка наложения сварных швов, режима сварки и т.д.

Мнение авторитетных специалистов

Как показывают теоретические и экспериментальные исследования, грибовидность фланцев, при допущении пластических деформаций, не влияет на их предельную несущую способность по первому предельному состоянию. Кроме того, наличие грибовидности в ряде случаев может положительно сказаться на работе самих фланцев и соединяющих их болтов при циклических нагрузках (эффект внутреннего предварительного напряжения).

Допущение остаточных сварочных деформаций позволяет избежать трудоемких операций по предотвращению или правке грибовидности.

При допущении грибовидности во фланцах, следует принимать определенные меры при сварке и монтажной сборке конструкций с целью предотвращения нежелательных форм остаточных сварочных деформаций (порядок наложения сварных швов, последовательность, натяжения высокопрочных болтов, контроль их натяжения и т.д.).

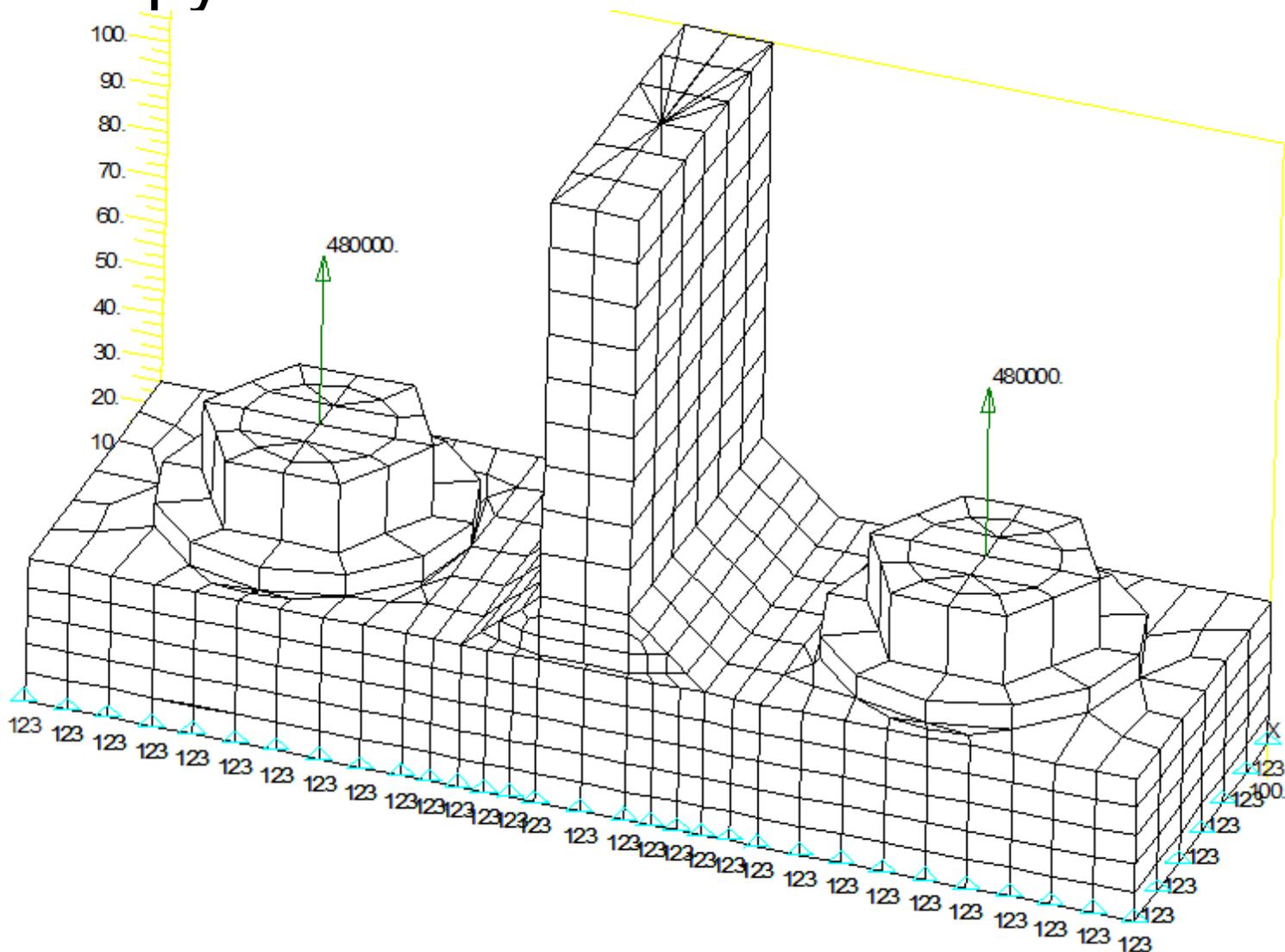
Из монографии В.В. Катюшина Здания с каркасами из стальных рам переменного сечения (расчет, проектирование строительство). - М.: ОАО «Издательство «Стройиздат», 2005. - 656 с.: ил.

Что делать?

Грибовидность фланцев не влияет на их несущую способность (**не соединения в целом**), при допущении пластических деформаций, но оказывает влияние на распределение усилий в преднапряженных высокопрочных болтах и долю внешней нагрузки, передаваемой на болты, что может привести к их разрушению, потере несущей способности соединения и обрушению конструкции.

На принятие решения о пригодности к эксплуатации конструкций с дефектами во фланцах или о способах их доработки в современных условиях, при жестких сроках на изготовление и поставку стальных конструкций, должно уходить не более 1-2 дней. Такие сроки принятия решений вполне возможны при наличии подробной расчетной модели фланцевого стыка без учета остаточных деформаций и наличии технологии расчета с учетом остаточных деформаций. Далее представлены контуры такой технологии на примере расчета тестовых моделей Т-образного фланца.

Тестовая расчетная модель Т-образного фланца, нагруженного силами по осям болтов



Настоящая модель использована для сравнения усилий натяжения в болтах с результатами, представленными в научной и технической литературе.

Расчеты выполнялись в программе Nastran.

Описание расчетной модели

Моделирование стержня болта выполнено с использованием конечного элемента типа Beam.

Материал всех элементов линейно-упругий.

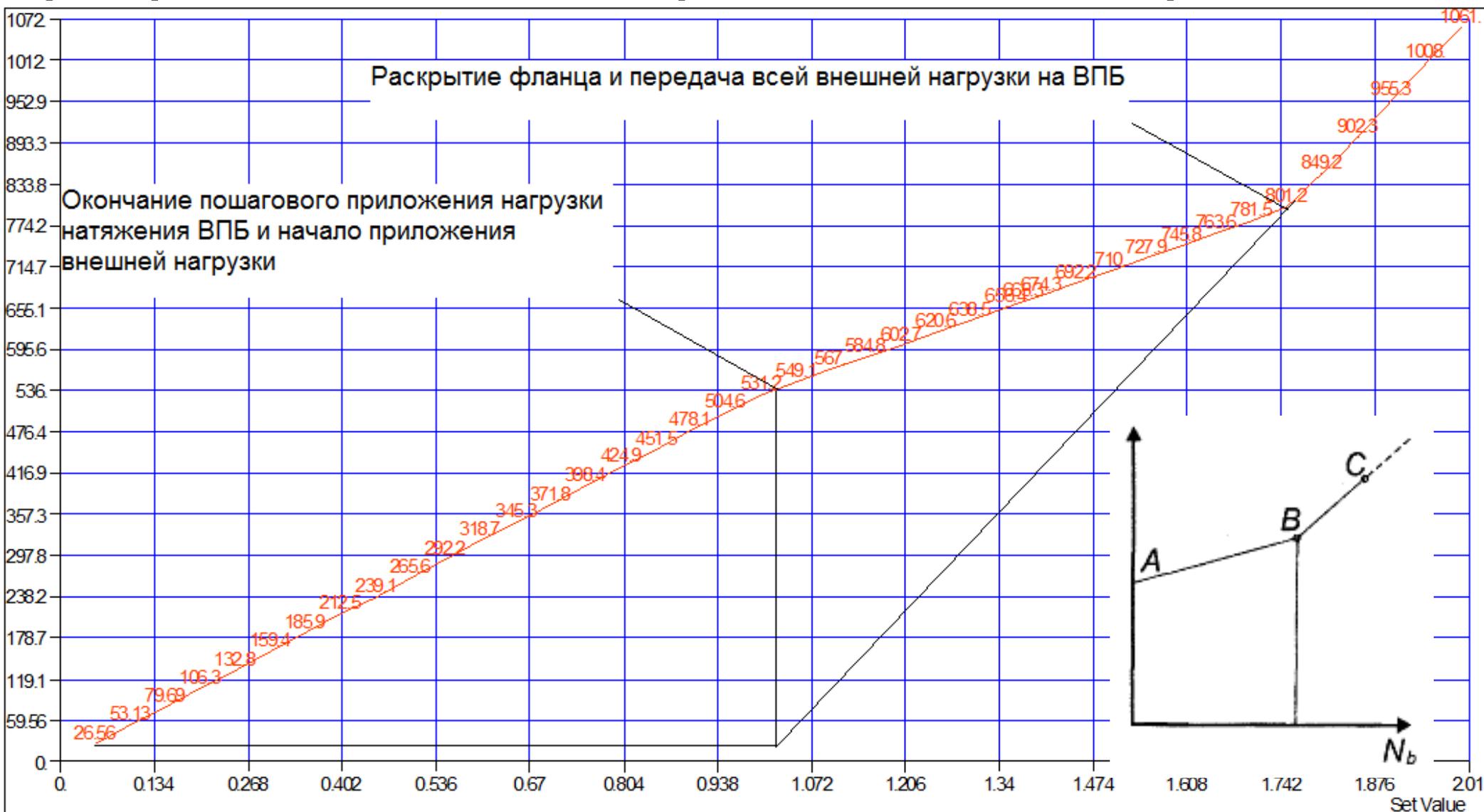
Толщина фланца 25 мм, диаметр болтов 24 мм.

Условия контакта в плоскости симметрии (нижняя плоскость модели) заданы с помощью элементов односторонней связи Gap.

Для решения контактной задачи расчет выполнен в нелинейной постановке (Nonlinear Static) с учетом последовательного приложения натяжения болтов, а затем внешней нагрузки.

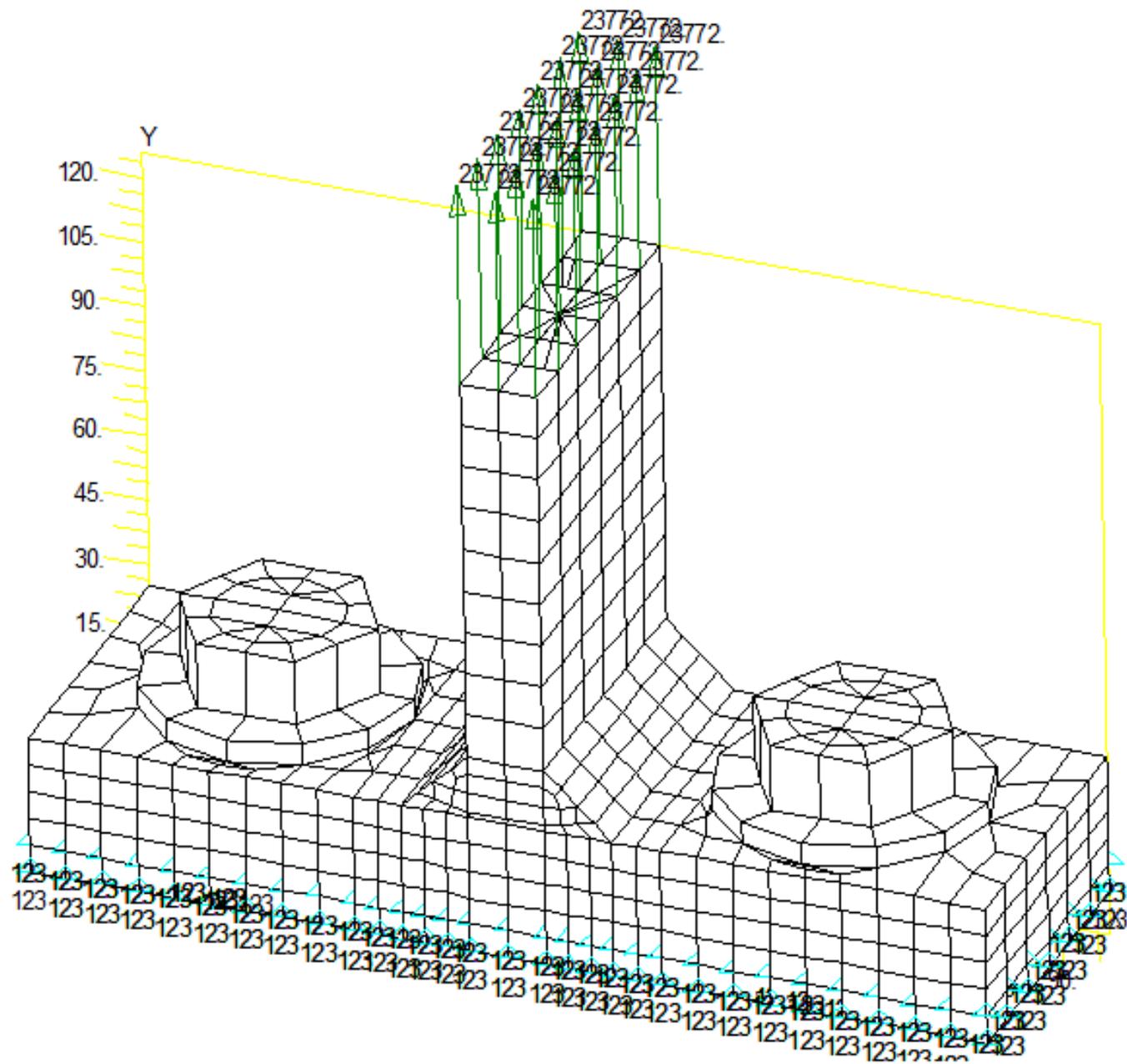
Моделирование натяжения болтов выполнено температурными нагрузками.

График осевых напряжений в стержне ВПБ



Анализ графика показывает, что от начала приложения нагрузки до момента раскрытия фланца, болтом воспринято 34 % от внешней нагрузки. Следует отметить, что согласно данным из технической литературы для аналогичного соединения коэффициент внешней нагрузки для высокопрочных болтов диаметром 24 мм $\chi=0,157$, что почти в 2,17 раза меньше чем полученные результаты.

Тестовая расчетная модель Т-образного фланца, нагруженного распределенной нагрузкой к примыкающему поясу



Описание расчетной модели

Для участка пояса и стержня болта материал линейно-упругий.

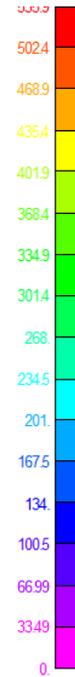
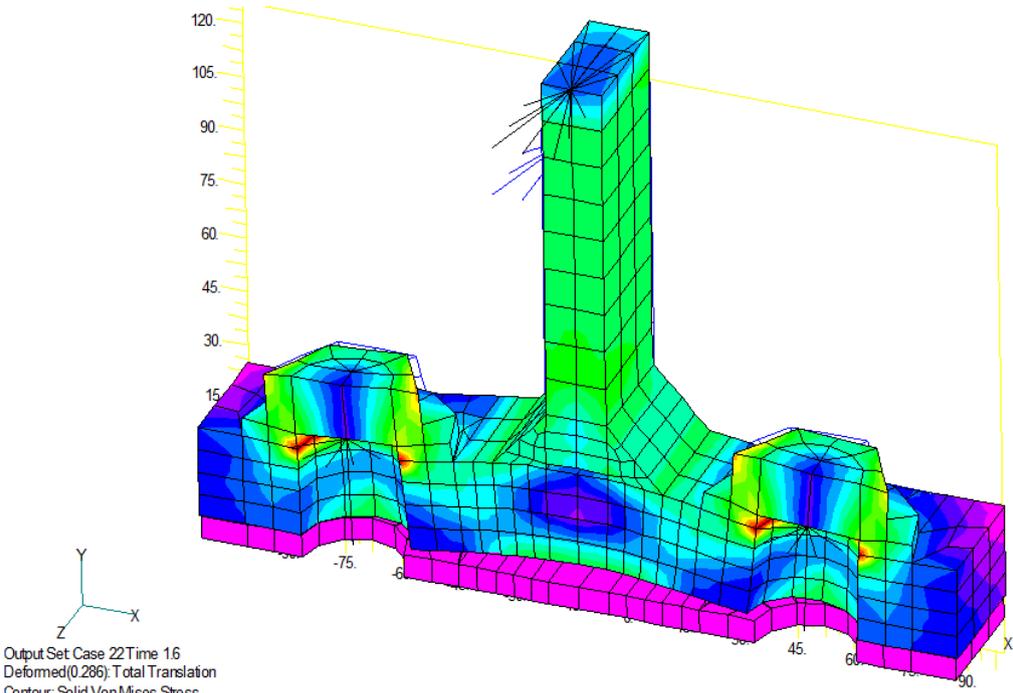
Для фланца, сварного шва, головки болта и шайбы, материал упруго-пластический билинейный (Elasto-Plastic (Bi-Linear)).

Расчет выполнен в нелинейной постановке (Nonlinear Static).

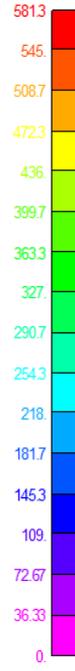
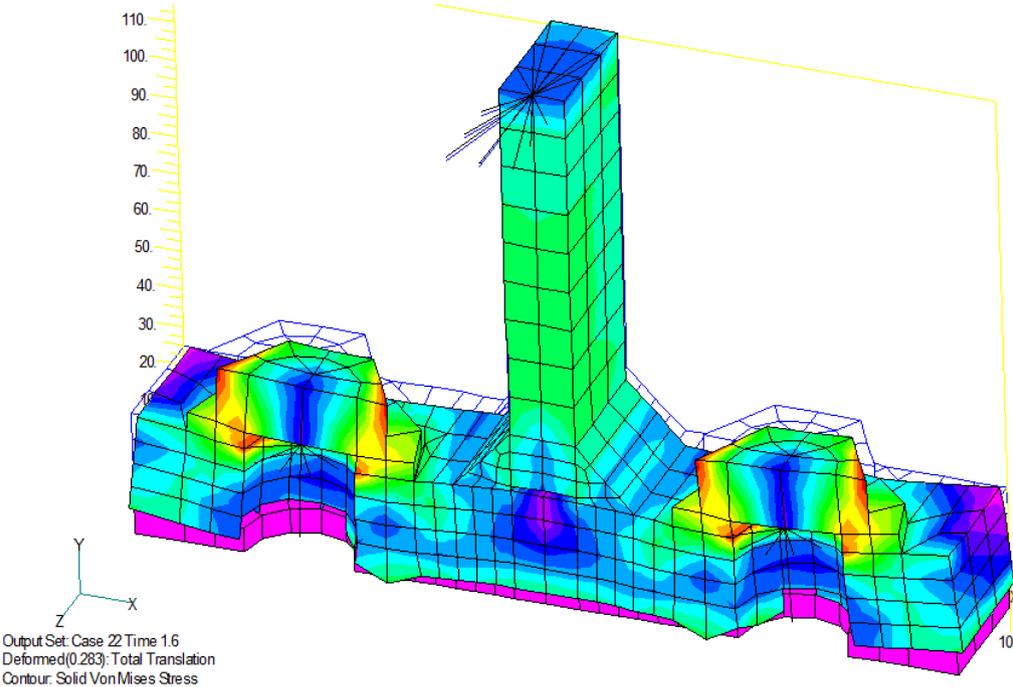
Для создания грибовидности написана программа, пересчитывающая координаты узлов по деформациям, вызванным специально заданным нагружением.

Форма грибовидности фланца принята выпуклостью вверх как наиболее нежелательная со стрелой начального прогиба 0,5 мм.

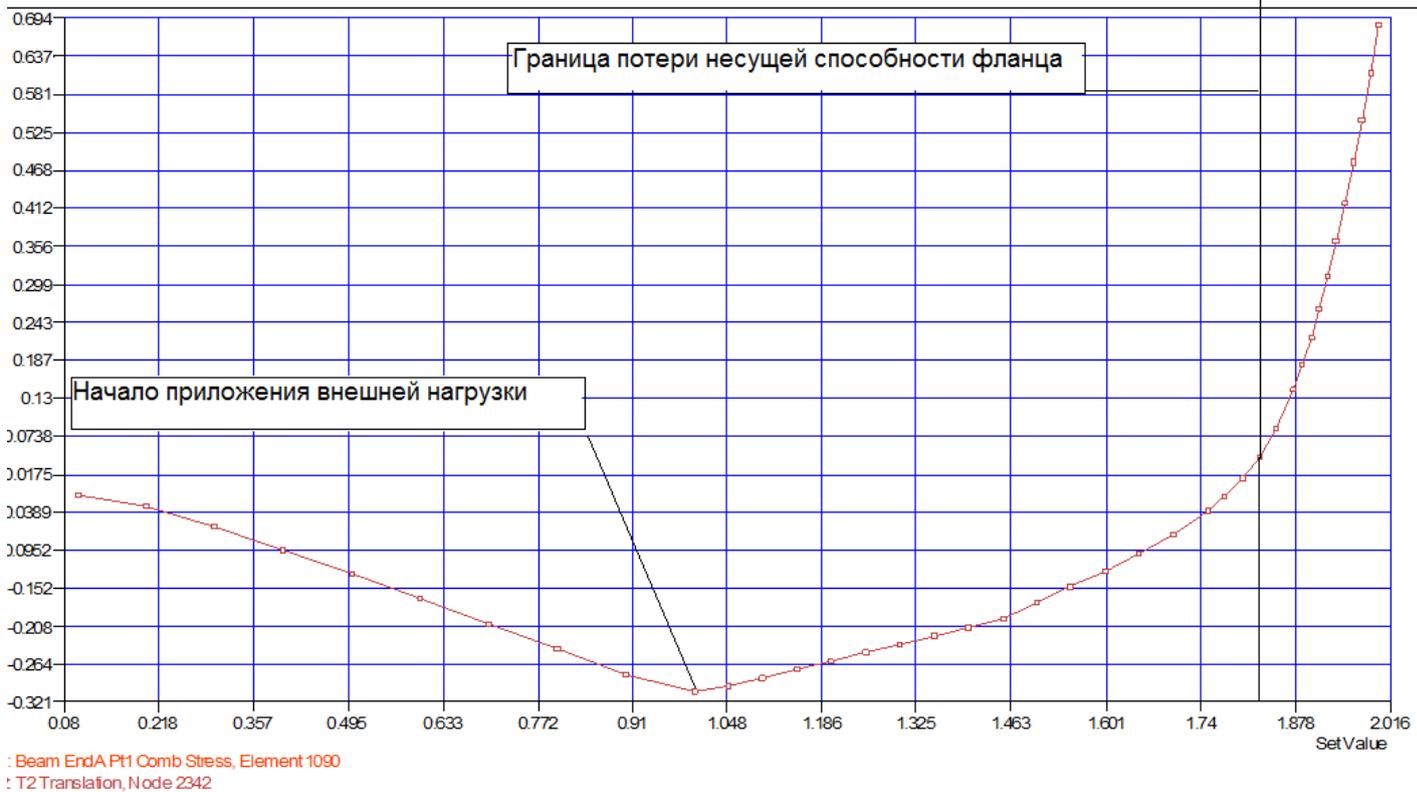
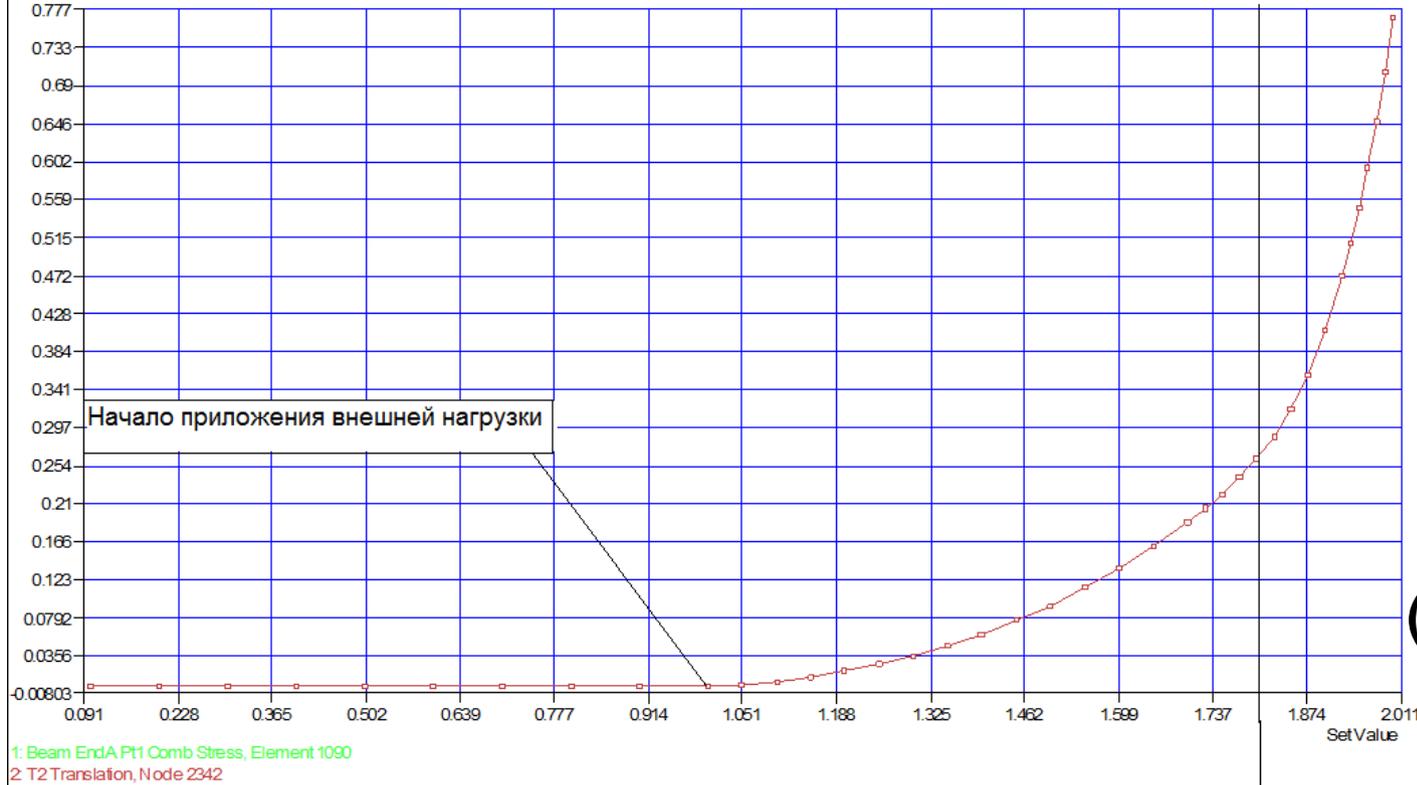
Проблема задания параметров начального раскрытия элемента (Initial Gap) в элементах односторонней связи Gap, которая меняется от 0 по краям фланца до максимального 0,5 мм в центре фланца также решена с помощью специально написанной программы.



Напряженно-деформированное состояние плоского (сверху) и грибовидного (снизу) фланцев при внешней нагрузке 60 % от номинальной (в два раза больше несущей способности пояса).

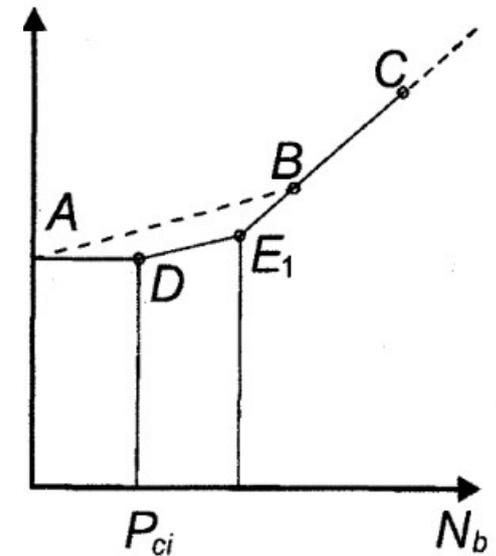
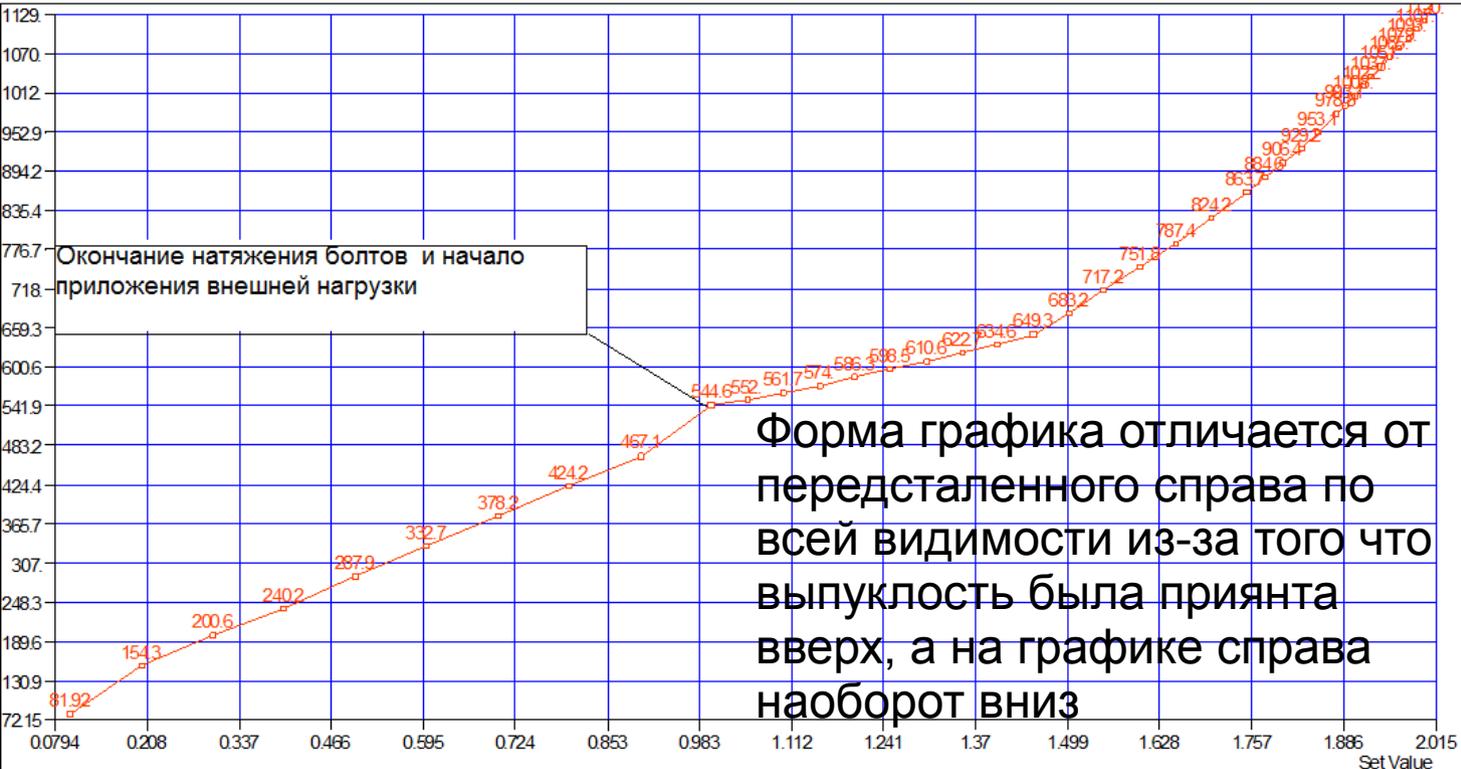
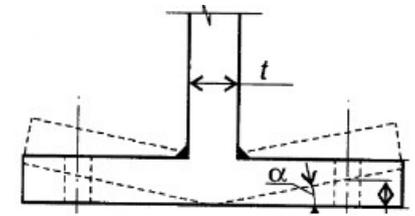
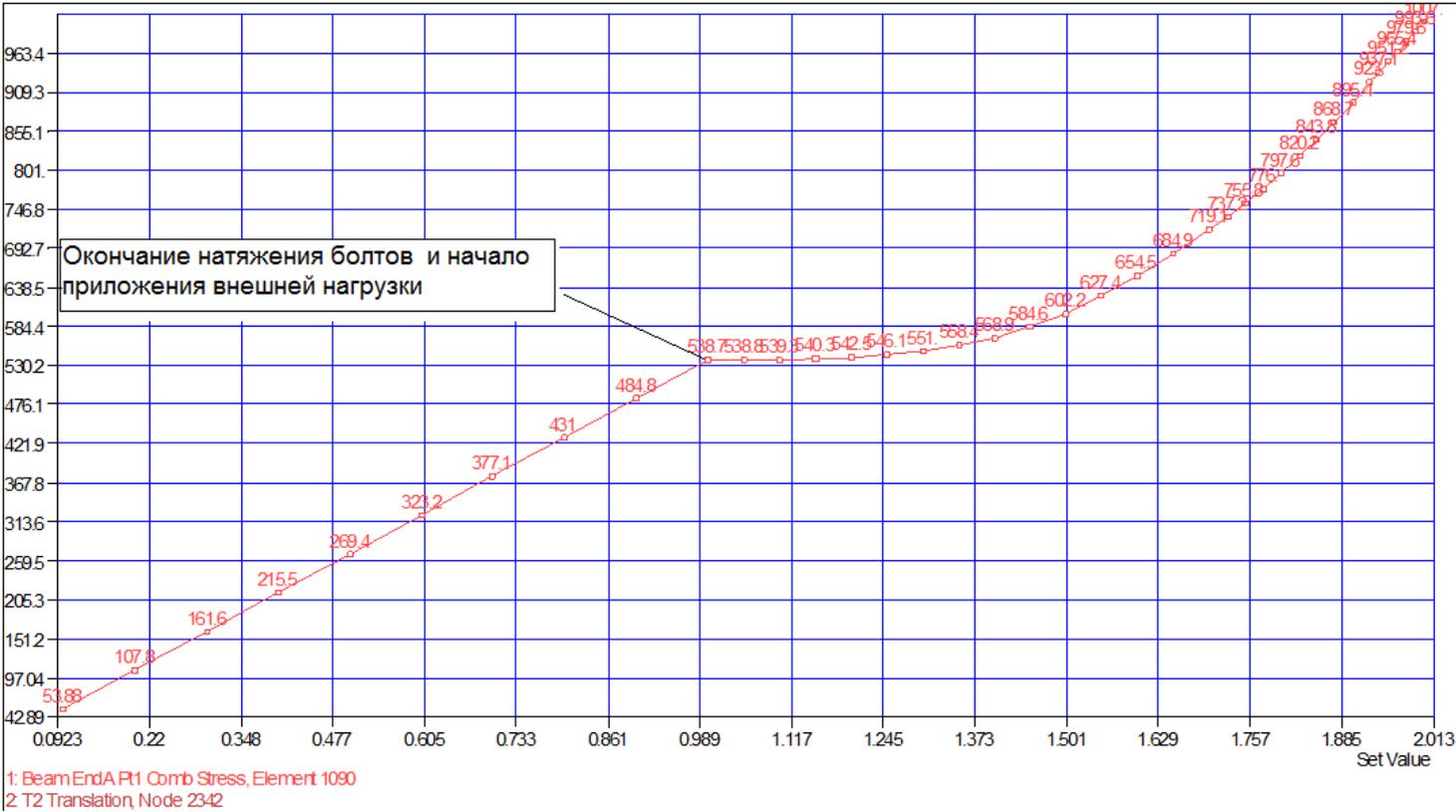


Вертикальное перемещение узла в центре идеального (сверху) и грибовидного (снизу) фланцев при последовательном пошаговом приложении нагрузки сначала от натяжения болтов (SetValue от 0 до 1), затем внешней нагрузки. (SetValue от 1 до 2)



Анализ представленных графиков показывает, что несущая способность фланца исчерпывается при 80% внешней нагрузки, принятой по началу резкого роста перемещений.

Осевое напряжение в стержне болта плоского (сверху) и грибовидного (снизу) фланца.



Выводы.

Анализ представленных выше графиков показывает, что несущая способность фланца исчерпывается при 80% внешней нагрузки, принятой по резкому росту перемещений. **С учетом того, что номинальная нагрузка в модели в 2 раза больше несущей способности пояса, то разрушение примыкающего элемента произойдет раньше разрушения фланца.**

Анализ осевых напряжений в болтах показывает, что при 80% внешней нагрузки в модели с грибовидностью их значение $90,64 \text{ кН/см}^2$, а в модели без грибовидности $79,76 \text{ кН/см}^2$. При расчетном сопротивлении стержня болта 77 кН/см^2 для фланца без грибовидности разрушение по болтам происходит при 77% от номинальной внешней нагрузки, а с грибовидностью при 62%. При этом следует отметить, что несущая способность пояса исчерпывается при 50% номинальной нагрузки, т.е. **для фланца с грибовидностью запас несущей способности по болтам составляет 26 % относительно несущей способности пояса, а для фланца без грибовидности - 35%.**

В представленных моделях параметры фланца и грибовидности были взяты из реальной ситуации, что подтверждает целесообразность выполнения подобных расчетов для принятия решения о возможности эксплуатации фланцевого соединения с деформациями фланцев в форме грибовидности или о необходимости их усиления.

Очевидно, что описанная методика подходит и для расчета усиления соединения и вполне может применяться заводами изготовителями металлоконструкций для обоснования отказа от трудоемких и затратных операций по фрезеровки фланцев.

По результатам выполненного исследования
вышла статья в научно-техническом журнале
"Строительная механика и расчет сооружений"
№2 за 2011 г. стр. 37.